EVALUACIÓN DE LA TÉCNICA DE LANZAMIENTO DE PESO BASADO EN ANÁLISIS BIOMECÁNICO CON FOTOGRAMETRÍA TRIDIMENSIONAL

Paulino Gil, José María
Bote García, Alonso
Carrillo Calleja, Gregorio
Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Extremadura

RESUMEN

El lanzamiento de peso es una de las modalidades deportivas del atletismo menos se ha estudiado bajo el enfoque de la biomecánica de la técnica deportiva, aunque la calidad técnica del lanzador es determinante para el rendimiento. El objetivo de este estudio ha sido analizar la técnica de la lanzadora Extremeña Marta Carballo como una de las más firmes promesas del Deporte de nuestra comunidad. En este sentido se han utilizado los recursos tecnológicos del Laboratorio de Biomecánica del Movimiento Humano y de Ergonomía de la Facultad de Ciencias del Deporte. Para el análisis cinemático se ha utilizado la fotogrametría-vídeo tridimensional que ha permitido detectar y evaluar en términos biomecánicos los aspectos favorables para el rendimiento y las deficiencias técnicas de la lanzadora. Los resultados del estudio confirman la necesidad de apoyo científico al entrenamiento de la técnica de la atleta y el desarrollo de nuevos análisis de su técnica conjuntamente con la evaluación de su nivel de potencial neuromuscular que en todo caso determinará la evolución de su rendimiento deportivo.

PALABRAS CLAVE

Biomecánica, cinemática, lanzamiento de peso, fotogrametría vídeo tridimensional.

1 INTRODUCCIÓN

El lanzamiento de peso, igual que todos los lanzamientos, pertenece al grupo de los deportes explosivos, es decir, requieren desarrollar grandes fuerzas en intervalos de tiempo relativamente cortos.

El lanzamiento de peso se puede efectuar con dos técnicas: a) técnica lineal y b) técnica circular. La diferencia entre ambas consiste en que con la segunda se aumenta la distancia de aceleración del implemento, hecho que probablemente dará lugar a una velocidad de lanzamiento del peso mayor y que a su vez dependerá del nivel de fuerza muscular y de la coordinación motora del lanzador. La técnica circular se utiliza cada vez más por los deportistas de alto nivel.

La distancia alcanzada (M) en el lanzamiento del peso (Fig. 1) es la suma de la distancia de liberación (Ma), que indica la posición real del peso en el instante de la liberación y de la longitud de vuelo del peso (Mp) que a su vez depende de los siguientes parámetros:

V_0 = velocidad de despegue; **H_0** = altura de despegue; **A_0** = ángulo de despegue;
g = aceleración de la gravedad; **K** = resistencia aerodinámica.

Estos parámetros se relacionan entre sí según la siguiente fórmula, despreciando la resistencia aerodinámica

$$M_p = \frac{V_0^2 \cos(A_0)}{g}\left[\operatorname{sen}(A_0) + \sqrt{\operatorname{sen}^2(A_0) + \frac{2H_0 g}{V_0^2}}\right]$$

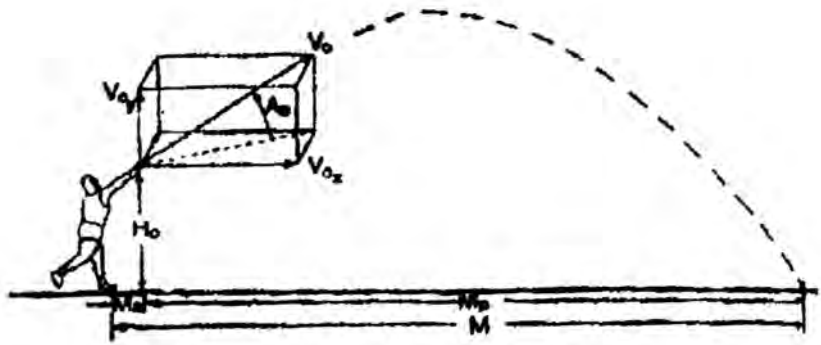


Figura 1. Parámetros mecánicos del lanzamiento de peso.

2 OBJETIVOS

1. Realizar análisis biomecánico de la técnica de una lanzadora como apoyo científico - técnico a su proceso de entrenamiento con el fin de contribuir a la mejora de su rendimiento deportivo.

2. Poner a punto la técnica y los protocolos de la fotogrametría – vídeo tridimensional para el análisis y evaluación de la técnica deportiva en el Laboratorio de Biomecánica de la Facultad de Ciencias del Deporte.

3 METODOLOGÍA

El estudio se ha realizado en condiciones de competición durante el Gran Premio Telefónica Campeonato Autonómico de Extremadura de Atletismo celebrado en Cáceres el 12 de Junio de 1999, donde la atleta cuya técnica se ha estudiado ganó el campeonato. Se realizó la grabación de los distintos lanzamientos de la atleta con dos cámaras de vídeo Panasonic SVHS (*AG-DP800HE, EG* y *AG-DP200E*) a una frecuencia de 50 Hz. Se han registrado eventos de sincronismo que han permitido posteriormente sincronizar las imágenes procedentes de cada cámara.

Durante la grabación en el campo y antes de iniciarse el concurso se ha filmado por ambas cámaras el sistema de referencia, que es un cubo de 2 metros de lado, para reconstruir las coordenadas tridimensionales de los marcadores anatómicos según un modelo mecánico previamente establecido (Navarro, 1994) (Fig. 2) compuesto por 25 marcadores anatómicos que dan lugar a 23 conexiones más el peso.

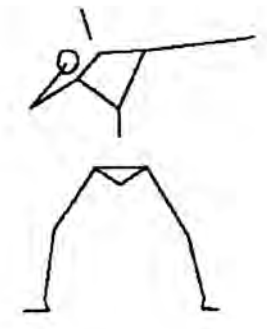


Figura 2. Modelo mecánico del cuerpo humano.

El procesamiento de las imágenes en el laboratorio ha consistido en la visualización de las secuencias previamente grabadas y la definición de los estudios y de las escenas correspondientes. Una vez digitalizados los 8 marcadores que definen los vértices del sistema de referencia, se ha utilizado el algoritmo de optimización conocido con el nombre Transformación Lineal Directa (DLT) y se han reconstruido las coordenadas espaciales de los marcadores anatómicos y del peso previamente digitalizados. Para ello se utilizó el sistema KINESCAN/IBV 8.1.

Una vez obtenidas las coordenadas tridimensionales de los marcadores anatómicos, se ha utilizado el programa *"BiomSoft"* (Gianikellis et al. 1999), desarrollado en entorno MATLAB para el suavizado de los datos posición – tiempo, utilizando funciones "Spline" de grado cinco (Woltring. 1986), el cálculo y la representación gráfica de las variables del estudio y su evolución en el tiempo.

3.1 Descripción de las fases e instantes característicos del lanzamiento de peso (Fig. 3)

- **Fase inicial (F_1)** que empieza con la posición inicial (PI) que adopta el lanzador y termina con el despegue del pie derecho (D ↑).
- **Desplazamiento hacia atrás (F_2)** hasta que apoya el pie derecho (D ↓).
- **Fase de traslación (F_3)** hasta el apoyo del pie izquierdo (I ↓)

❑ **Fase de rotación de hombros (F_4)** hasta que el eje de los hombros se encuentre paralelo a la dirección de lanzamiento (H//).
❑ **Fase de lanzamiento (F_5)** hasta el despegue del peso (DP).

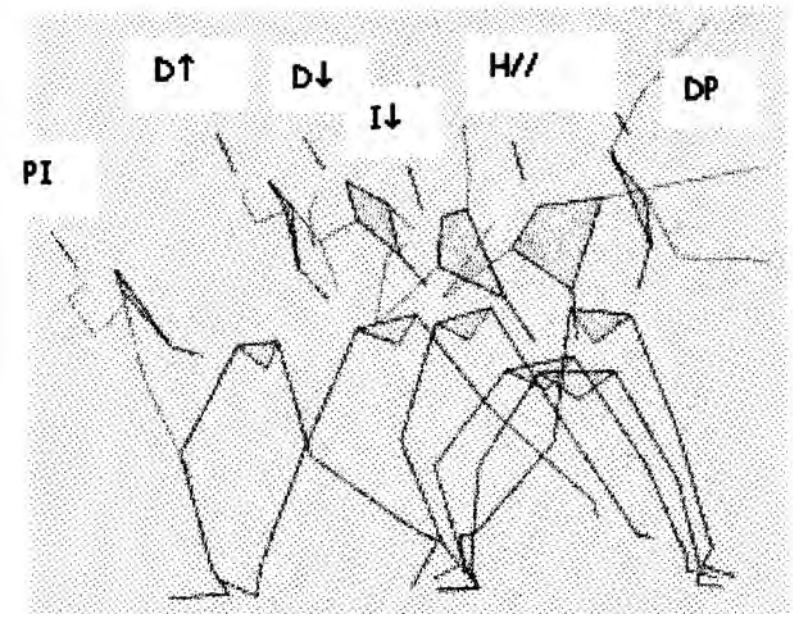


Figura 3. Fases en las que se divide el lanzamiento de peso.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primer lugar se muestran los valores de las variables cinemáticas que determinan la distancia del lanzamiento, que son la *velocidad de despegue del peso,* el *ángulo de despegue,* la *distancia inicial* y la *altura de liberación* .

Tabla 1. Parámetros cinemáticos de despegue.

	Lanz.	V_0 (m/s)	a_0 (º)	M_a (m)	h_0 (m)
M. Carballo	1	9.95	37.6	-0.17	1.68
M. Carballo	2	10.07	39.0	0.00	1.85
M. Carballo	3	10.20	38.4	0.03	1.75

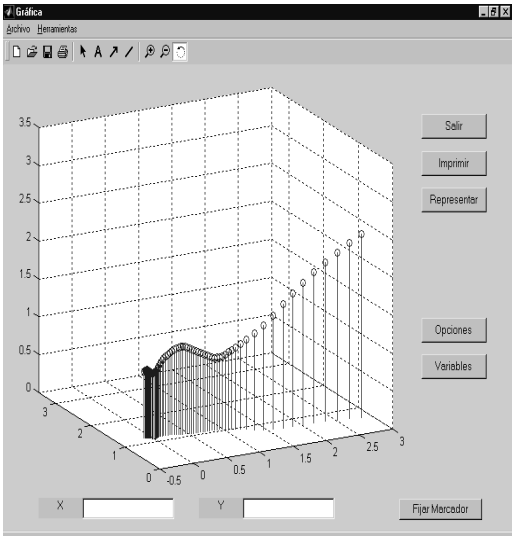
En la tabla 2 se agrupan los intervalos de duración de cada una de las fases del lanzamiento.

Tabla 2. Temporización de las fases para los tres lanzamientos.

Lanzamiento	4.1 F_1 **(s)**	$\mathbf{F_2}$ (s)	$\mathbf{F_3}$ (s)	$\mathbf{F_4}$ (s)	$\mathbf{F_5}$ (s)
1	0.64	0.14	0.16	0.14	0.15
2	0.66	0.14	0.18	0.14	0.16
3	0.62	0.16	0.17	0.13	0.16

Observando la ejecución del lanzamiento (Fig. 3) y la duración de cada una de las fases (Tabla 2), se aprecia que la *fase 3* (desde que apoya el pie derecho hasta que apoya el pie izquierdo) es demasiado larga, puesto que el pie izquierdo debe apoyarse inmediatamente después que el derecho (para lanzadores/as diestros). Además, se aprecia cómo la liberación del peso se produce demasiado atrás (3 cm en el mejor de los casos). Eso es, que en el instante de su liberación la perpendicular desde el peso al suelo está por detrás, o poco por delante, del pie izquierdo. Según Stepanek (1990) la mano de lanzamiento debería superar el círculo de lanzamiento entre 0.1 y 0.3 metros, distancia que la lanzadora podría añadir a la marca obtenida. (por ejemplo, la media en la prueba femenina de los Campeonatos del Mundo de Atletismo de Roma 1987 fue de 11 cm).

La representación gráfica de la trayectoria del peso, sobre todo en el eje Z (Fig. 5), permite detectar, en todos los lanzamientos, un salto de la lanzadora en la dirección vertical durante la fase de desplazamiento hacia atrás, hecho que le impide acelerar el peso correctamente, y por lo tanto podría considerarse como una deficiencia técnica aunque, la ausencia de importantes desplazamientos laterales del peso (Fig. 6) indica que este se mueve en una trayectoria bastante apropiada. En este punto cabría destacar que el análisis de los tres lanzamientos no demuestra un patrón claramente reproducible respecto a la tendencia de la curva de la trayectoria, puesto que se observan claras diferencias respecto a la trayectoria del peso, sobre todo en las últimas fases del lanzamiento.



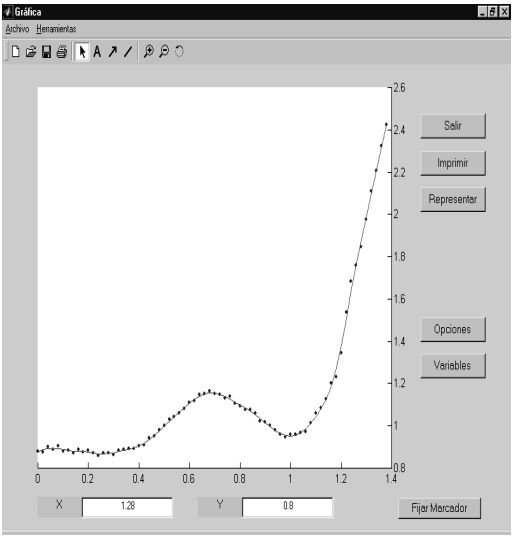
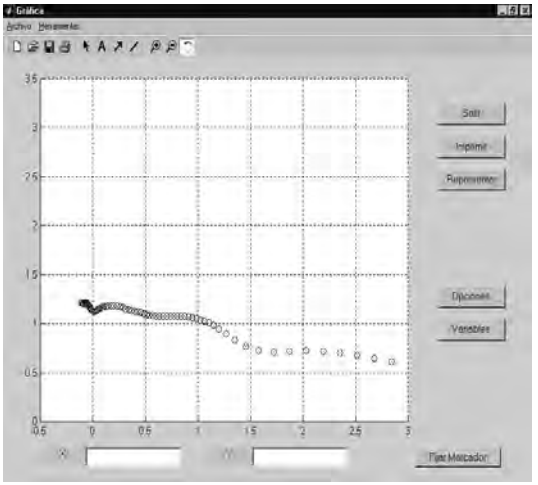


Fig. 4. Trayectoria del peso en 3 dimensiones.

Fig. 5. Evolución temporal de la trayectoria del peso en el eje vertical (Z)

El cálculo de la longitud de la trayectoria descrita por cada marcador permite conocer la distancia recorrida por el peso en el transcurso del lanzamiento (Fig. 7). En el instante en que la atleta libera el peso (t = 1.28 s), este ha recorrido la distancia de 2.78 m., lo que representa un 159 % de la altura de la lanzadora.



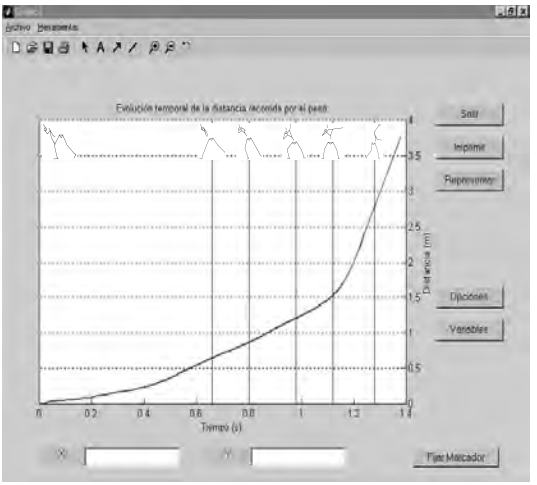


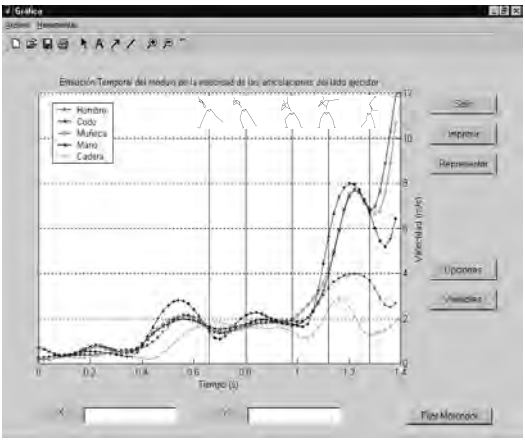
Fig. 6. Distancia descrita por el peso y proyectada en el suelo (plano XY)

Fig. 7. Longitud de la trayectoria del peso acumulada durante las diferentes fases.

En la gráfica de la velocidad del peso (Fig. 8), podemos apreciar que el módulo de la velocidad del peso no aumenta continuamente hasta la última fase. Esta deficiencia técnica obliga a la lanzadora a alcanzar grandes niveles de aceleración durante la última fase aumentando así las

cargas de inercia y disminuyendo drásticamente el impulso de aceleración en la dirección del lanzamiento. Por lo tanto, sería recomendable optar por una técnica de lanzamiento que implique un aumento continuo de la velocidad del peso hasta el despegue alcanzando mayores valores de velocidad al inicio de la fase de lanzamiento (F_5). En este sentido, se podría realizar un test de lanzamiento desde la posición de parado, para comprobar la influencia real que tiene el desplazamiento sobre la velocidad final. Por otro lado, la media del módulo de la velocidad durante las dos últimas fases del lanzamiento es 5.16 m/s, frente a los 6 – 7 m/s de la élite mundial.

Otro de los aspectos a destacar respecto a la velocidad es que la mano, la muñeca, el codo y el hombro alcanzan simultáneamente su máxima velocidad (Fig. 9), mientras que lo correcto sería que alcanzasen los valores máximos de la velocidad sucesivamente desde los segmentos proximales a los segmentos distales, garantizando así la correcta transmisión de la energía cinética al peso.



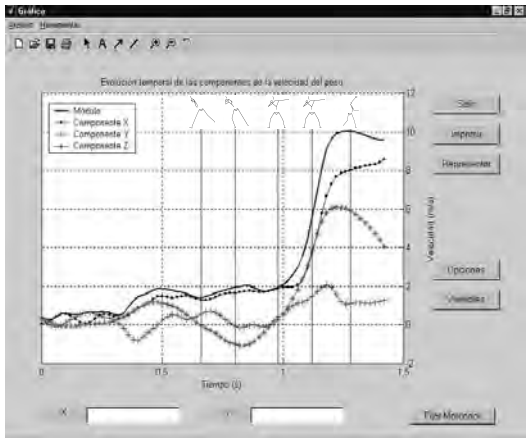


Fig. 8. Evolución temporal de las componentes de la velocidad del peso
Fig. 9. Evolución temporal del módulo de la velocidad de diferentes articulaciones.

La evolución del ángulo formado por los ejes de hombros y de caderas (Fig. 10) es uno de los puntos más importantes de la técnica y se debe prestar mucha atención. En el instante de apoyo del pie izquierdo, este ángulo debería tener valores próximos a los 50 grados en la técnica lineal para que se desarrolle un alto nivel de pretensión en los grupos musculares del tronco y facilitar de esta manera el lanzamiento (Zatsiorky, 1990). Como muestran las gráficas, Marta presenta en ese instante un ángulo de entre 35 y 40 grados, lo que produce una postura final menos favorable para el lanzamiento y probablemente niveles bajos de pretensión muscular y disminución de la distancia de aceleración del peso, debido a que en la fase de desplazamiento hacía atrás, este ángulo se reduce como consecuencia del salto en la dirección vertical que nos hemos referido antes.

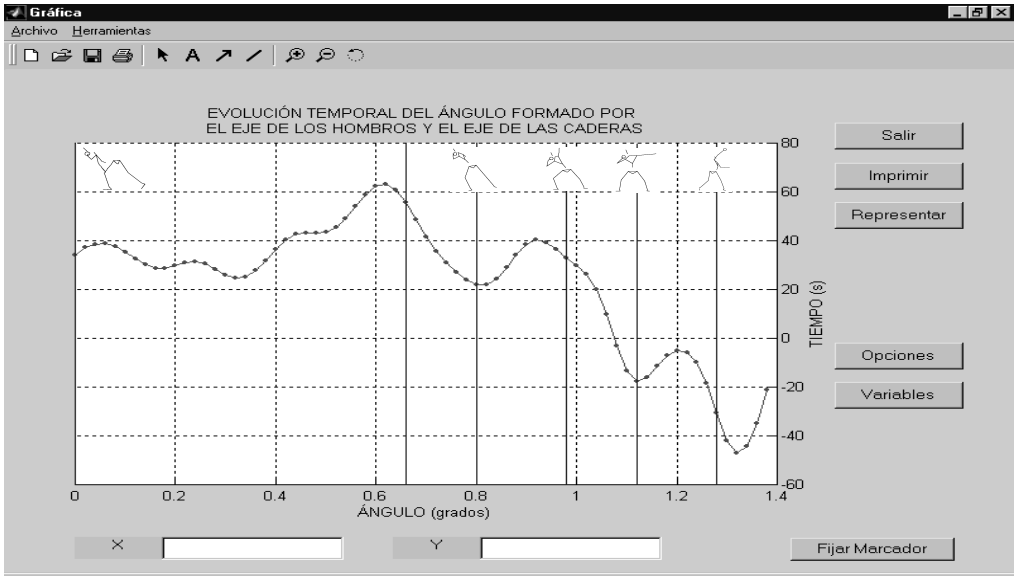


Fig. 10. Evolución temporal del ángulo formado por el eje de los hombros y el eje de las caderas.

5 CONCLUSIONES

❒ El análisis cinemático del lanzamiento de peso de la atleta en cuestión ha permitido evaluar objetivamente los aspectos más importantes de su técnica y se puede sostener que la lanzadora Marta Carballo puede alcanzar marcas superiores si mejora ciertos aspectos de su técnica.

❒ En este sentido y teniendo en cuenta que la atleta tiene experiencia en el lanzamiento de disco sería recomendable la utilización de la técnica rotacional para el peso, puesto que esto permitiría llegar a la fase final de lanzamiento en una posición más favorable y simultáneamente aumentar la distancia de aceleración.

❒ En todo caso si sigue con la misma técnica debería prestar especial atención a la fase de desplazamiento hacia atrás puesto que la evolución de esta fase condiciona el desarrollo de las fases posteriores.

❒ Los resultados del análisis biomecánico han demostrado la necesidad de perfeccionamiento de la técnica respecto a los tres aspectos fundamentales del lanzamiento de peso que son la creación de altos niveles de pretensión muscular en las diferentes fases del lanzamiento, la correcta transmisión de la energía cinética desde los segmentos corporales proximales al peso, y, el alcance de una distancia de aceleración óptima.

❒ Se confirma la necesidad de realizar nuevos análisis de la técnica de la lanzadora conjuntamente con evaluación de su nivel de potencial neuromuscular que en todo caso determinará la evolución de su rendimiento deportivo.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Aguado, J. y otros (1998). *Análisis biomecánico del lanzamiento de peso: técnica lineal frente a la técnica de rotación*. Revista de Entrenamiento Deportivo. Tomo XI, 1. 27 - 32.
- Gianikellis, K. y otros (1999). "BiomSoft: un software desarrollado para el análisis cinemático en el campo de la Biomecánica del aparato locomotor". Congreso de usuarios de MATLAB, 501 - 508. Madrid.
- Gianikellis, K.; Gutiérrez Dávila, M. (1998). *Estado actual de conocimientos de las técnicas de tratamiento de los datos posición – tiempo en el campo de la biomecánica del aparato locomotor.* Revista Motricidad, 4, 7 – 25.
- Gianikellis, K y otros (2000). *Evaluación de la técnica de lanzamiento de peso de la atleta Marta Carballo basado en análisis biomecánico con fotogrametría tridimensional.* Informe técnico emitido para la Federación Extremeña de atletismo. Cáceres.
- Instituto de Biomecánica de Valencia (1999). KINESCAN/IBV. Manual del usuario. Versión 8.1.

- Navarro Cabello, E. (1994) *Análisis biomecánico de la técnica individual del lanzamiento de jabalina.* Tesis Doctoral. E.T.S.I.I. Universidad Politécnica de Valencia.
- Papadopoulos, C. y otros (1995). *Análisis biomecánico y comparación de la técnica circular y lineal en el lanzamiento de peso.* Segundo Congreso de Ciencias del Deporte, Educación Física y Recreación del INEFC. 435 – 443. Lleida.
- Stepanek, J. (1987). *Comparison of the glide and totation technique in the shotput.* Libro de Actas del 5th International Symposium of Biomechanics in Sports, 135 – 146. Editado por Tsarouchas et al. Atenas.
- The MATHWORKS Inc. (1999), Using MATLAB. Versión 5 (revisada para MATLAB 5.3).

- Woltring, H.J. (1985). *On optimal smoothing and derivative estimation from noisy displacement data in Biomechanics*. Human Movement Science, 4, 229 - 245.Woltring, H.J. (1986). *A Fortran package for generalized, cross – validatory spline smoothing and differentiation.* Advences in Engineering Software, 8, 2, 104 – 113. Woltring, H.J. (1991). *Representation and calculation of 3-D joint movement*. Human Movement Science, 10, 603 – 616.Wood, G.A. (1982). *Data smoothing and differentiation procedures in biomechanics.* In Exercise and Sport Sciences Reviews, 10, 308 – 362. New York: Franklin Institute Press.Zatsiorsky, V. M. (1990). *The Biomechanics of shot putting technique.* Technique in athleties. 118 – 125. Colonia.

o